

А. В. Харлова, А. А. Пономаренко

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
anyuta.harlowa@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА КРЕМНИЕВОГО И ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СОСТАВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В работе представлены результаты влияния микрокремнезема (МК) на свойства мелкозернистого бетона. Установлено, что при замене части цемента микрокремнеземом в количестве 15 % снижается расход портландцемента на 23–25 % и повышается класс прочности бетона до В40.

Ключевые слова: микрокремнезем; портландцемент; хвосты обогащения кварцита; мелкозернистый бетон; физико-механические свойства.

A. V. Kharlova, A. A. Ponomarenko

Ural Federal University, Ekaterinburg

BY-PRODUCT USE OF SILICON METAL AND FERROSILICON ALLOYS MANUFACTURE IN THE COMPOSITION OF FINE CONCRETE ON THE BASIS OF ROCK TAILS

The results of silica fume (SF) influence on the properties of fine concrete are presented in the report. It is established that when replacing part of the cement with silica fume in an amount of 15 %, the consumption of Portland cement is reduced by 23–25 % and the grade of concrete strength rises to B40.

Key words: silica fume; Portland cement; quartzite tails; fine concrete; physical and mechanical properties.

В настоящее время в технологии бетона для повышения эффективности и снижения себестоимости производства используются различные промышленные отходы.

К числу таких сырьевых материалов относятся микрокремнезем (крупнотоннажный техногенный продукт, образующийся при производстве кристаллического кремния и кремнистых ферросплавов) и хвосты обогащения горных пород.

Цель работы – исследование состава и свойств микрокремнезема (МК) отечественного и зарубежных производителей, а также его влияние на состав и физико-механические свойства мелкозернистого бетона, содержащего хвосты обогащения кварцита.

В работе использовались следующие сырьевые материалы, удовлетворяющие требованиям ГОСТ и ТУ: клинкер портландцементный АО «Невьянский цементник»; песок стандартный полифракционный для испытания цемента; камень гипсовый 2 сорта Каринского месторождения (ООО «Багарякский известняковый карьер»); пробы МК предприятий ООО «СУАЛ-Кремний-Урал» (Россия), Актюбинского завода ферросплавов филиал АО «ТНК «Казхром» (Казахстан), компании Elkem ASA (Норвегия); портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ОАО «Сухоложскцемент»; песок из хвостов обогащения кварцита ОАО «Динур», соответствующий II классу песков из отсеков дробления горных пород; химическая добавка – суперпластификатор «ПОЛИПЛАСТ СП-1» ООО «ПОЛИПЛАСТ – УралСиб».

МК компании Elkem ASA содержит большее количество SiO_2 – 98,0 %, по сравнению с МК других производителей: 95,5 % – ООО «СУАЛ-Кремний-Урал», 94,5 % – Актюбинский завод ферросплавов филиал АО «ТНК «Казхром», а также меньше оксидов алюминия, железа и щелочных металлов.

Повышенная активность МК компании Elkem ASA, в сравнении с МК других производителей (табл. 1), объясняется более высоким отношением Si/O равным 2,46 (для SiO_2 стехиометрическое соотношение равно 0,887). Следовательно, молекула SiO_2 характеризуется большей степенью нестехиометрии (недостатка) по кислороду, что может быть вызвано либо анионными вакансиями в кристаллической структуре этого материала, либо присутствием бескислородных (например, карбидных) фаз [1].

Таблица 1

Сравнительные результаты определения химической активности
микрокремнезема различных производств

№	Сроки схватывания, мин		ρ , кг/м ³	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	K_A	$\Delta m_{прк}$, мас. %	
	начало	конец					при 400 °С	при 600 °С
1	175	335	2083	3,7	31,0	1,00	9,54	3,61
2	250	405	1958	3,8	29,0	0,94	13,02	1,87
3	265	410	1992	3,6	25,9	0,84	12,78	2,09
4	230	390	2032	4,2	27,4	0,88	11,58	2,01
5	215	380	2045	4,5	30,8	0,99	11,84	1,97
6	160	295	2050	4,2	54,8	1,77	11,70	2,14

Примечания:

- контрольный состав № 1 изготовлен с применением молотого полифракционного песка;
- опытный состав № 2 изготовлен на основе МК ООО «СУАЛ-Кремний-Урал» ($S_{уд} = 1217 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- опытный состав № 3 изготовлен на основе МК ООО «СУАЛ-Кремний-Урал» ($S_{уд} = 928 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- опытный состав № 4 изготовлен на основе МК Актюбинского завода ферросплавов филиал АО «ТНК «Казхром» ($S_{уд} = 2841 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- опытный состав № 5 изготовлен на основе МК Актюбинского завода ферросплавов филиал АО «ТНК «Казхром» ($S_{уд} = 4013 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- опытный состав № 6 изготовлен на основе МК Elkem ASA ($S_{уд} = 1641 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Также установлено, что МК является седиментационно неустойчивым материалом, поэтому для повышения эффективности его применения в составе бетонов необходимо применять поверхностно-активные вещества, препятствующие агрегации частиц МК в объеме бетонной смеси.

Свойства бетона (табл. 2), содержащего МК и песок из хвостов обогащения кварцита (ПХОК), определялись на образцах

размером 10×10×10. Их испытания проводили в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [2].

Таблица 2

Состав и свойства мелкозернистого бетона с использованием микрокремнезема и песка из хвостов обогащения кварцита

№	Расход материалов, кг/м ³					В/Ц	ρ _{бет.} , кг/м ³	R _{сж} , МПа		Класс бетона
	Ц	МК	ПХОК	Д	В			ТВО	28 сут.	
1	374	–	1565	7	225	0,60	2106	24,7	32,1	B25
2	279	49	1621	7	231	0,70	2121	36,8	47,8	B40
3	279	49	1638	7	231	0,70	2138	38,0	49,4	B40
4	287	51	1605	7	234	0,69	2118	35,4	46,0	B40

Примечания:

- контрольный состав № 1 изготовлен без МК;
- опытный состав № 2 изготовлен на основе МК ООО «СУАЛ-Кремний-Урал» ($S_{уд} = 1217 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- опытный состав № 3 изготовлен на основе МК Актюбинского завода ферросплавов филиал АО «ТНК «Казхром» ($S_{уд} = 4013 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- опытный состав № 4 изготовлен на основе МК Elkem ASA ($S_{уд} = 1641 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Таким образом, при введении МК (15 %) взамен части портландцемента и песка из хвостов обогащения кварцита, снижается расход цемента в бетоне на 23–25 %, повышается класс его прочности до В40. При этом соблюдаются требования ГОСТ 31384–2017 по минимальному расходу цемента при эксплуатации бетонов в агрессивных средах [3].

Список использованных источников

1. Земляной К. Г. Сравнительные характеристики микрокремнезема различных производителей / К. Г. Земляной, И. В. Кормина, И. А. Павлова // Новые огнеупоры. 2018. № 1. С. 8–17.
2. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Взамен ГОСТ 10180-90. Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2013. 31 с.
3. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Взамен ГОСТ 31384-2008. Введ. 2018-03-01. М. : Стандартинформ, 2017. 50 с.